

埋設管埋戻し材の液状化対策における透水性能と締固め度の影響に関する検討

東京大学大学院 学生会員 三上大道

東京大学生産技術研究所 正会員 古関潤一

東京大学生産技術研究所 正会員 佐藤剛司

1. はじめに 前報¹⁾では、地震時埋設管浮き上がり対策としての廃ガラスリサイクル粗粒材料(以下ガラス材と称する)の利用に関する既往の遠心模型実験結果を用いて、透水係数と埋設管浮き上がり現象との関係について検討した。その結果、前報に示した実験条件下では、0.1cm/sec 程度以下では浮き上がりが生じる場合があり、さらに透水係数が同程度の場合は密度に大きく依存することを明らかにした。また、本研究の対象材料とするガラス材(公称粒度 5~10mm)は、透水係数が $3.2 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ であることから、十分な締固めを行うことで、液状化対策として有効であると考えられた。本報では、前報と同様に、既往の遠心模型実験結果を利用して、透水係数、締固め度などが埋設管浮き上がり現象に及ぼす効果の検証を行った結果を報告する。

2. 実験条件と実験方法²⁾³⁾ 分析対象とした模型実験の模型断面を図1に示す。埋戻し層には粒度分布の異なる3種類のガラス材を使用した。本研究では粒径効果¹⁾に着目していることから、模型寸法のみならず、粒径に関しても遠心加速度を乗じて実物換算し、検討している。本実験の使用材料、前報にて対象とした実験の使用材料¹⁾及び本研究の対象材料であるガラス材(公称粒度 5~10mm)の実物換算粒度分布を図2に示す。

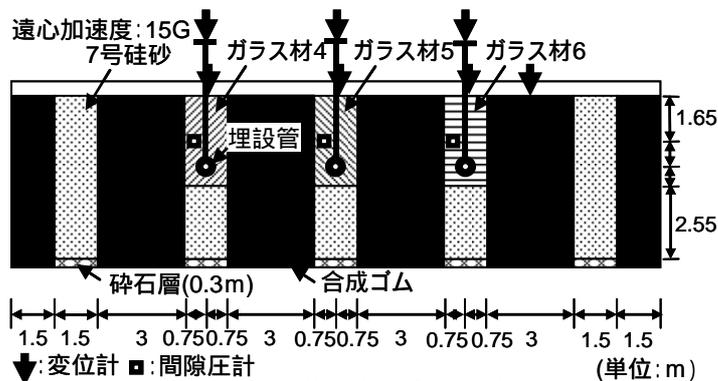
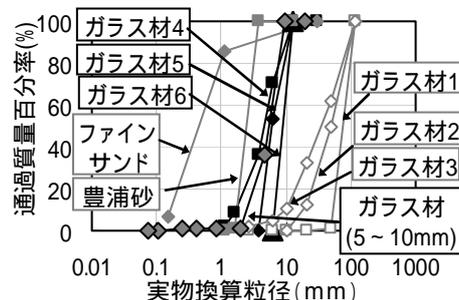
図1 模型断面³⁾ (寸法は実物換算)

図2 実物換算粒度分布

ガラス材 4 は締固めによる影響を検証するために、前報にて検討したガラス材 4 と同じ材料を締固め度のみ 90% に変更して使用している。またガラス材 5, 6 についても締固め度は 90% としており、これらはガラス材 4 に比べ透水性能が大きいことから、透水性能による影響を検証するために使用している。

前報にて使用したガラス材 4 との比較検討を主な目的としていることから、その他の条件はガラス材 4 のものと等しく、周辺地盤は合成ゴム地盤 ($E=1.1 \text{MN/m}^2$)、埋戻し層下方の支持層は密な 7 号硅砂地盤である。また、埋設管仕様は、直径 30mm、長さ 295mm で、見かけの比重を 0.8 に調整している。遠心加速度は 15G、入力波形は最大加速度 8G 相当、30Hz 相当、40 波の sin 波である。間隙流体の粘度に関しても前報¹⁾同様に、粒径効果軽減のための細かい材料を使うことによる透水係数の低下を考慮し、粘度を調整することで、見かけの透水係数が実物換算の 1/15 となるよう設定されている。また、使用した全ての埋戻し材料を対象に JIS A 1218 に従って透水試験を行った。

3. 試験結果 図3に埋設管の実物換算浮き上がり量と実物換算透水係数の関係を示す。図3中に締固め度 D_c を併せて示す。以下では計測値を全て実物換算値にて示すものとする。実物換算浮き上がり量とは浮き上がり量の実測値に遠心加速度を乗じたものである。また、本研究では実物換算透水係数を以下のように定義している。

$$(\text{実物換算透水係数}) = (\text{透水係数の実測値}) \times \frac{(\text{水の粘度})}{(\text{間隙流体の粘度})} \times \frac{(\text{遠心加速度})}{(\text{重力加速度})}$$

まず $D_c=90\%$ の結果を比較すると、ガラス材 4 では埋設管が若干浮き上がったものの、ガラス材 5, 6 では浮き上がらなかったことから、粒径効果を考慮して細かい材料を用いた場合も浮き上がり量は透水係数の影響を受けると考えられる。

さらに、締固め度を変化させたガラス材 4 の結果より、 $D_c=90\%$ 以上とすることによる埋設管浮き上がり量の軽減効果が

キーワード リサイクル材料、液状化、埋設管

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1Ce-202 東京大学生産技術研究所基礎地盤工学研究室 TEL03-5452-6422

確認できた。

また、図3において浮き上がり量が締固め度に依存することを考慮し、特に $D_c=90\%$ の場合に注目すると、浮き上がり量と透水係数の関係が、ばらつきはあるものの、図上に破線で示すような曲線で概ね近似できると考えられる結果が得られた。特に透水係数 0.1cm/sec 程度以下では浮き上がりが生じやすいといえる。本研究の対象材料とするガラス材(5～10mm)は、透水係数が $3.2 \times 10^{-1}\text{cm/sec}$ であるため、 $D_c=90\%$ 程度以上とすることで、液状化対策として有効であると考えられる。

図4にガラス材4($D_c=89.9\%$)、5、6の加振時地表面沈下量の時刻歴を示す。ここで、ガラス材4において、他に比べ著しく大きい沈下量が計測されたのは、加振中にターゲットが移動してしまったことによる。ただしガラス材5、6に関しても、大きな地表面沈下が生じている。埋設管の浮き上がり対策として有効であったとしても、実地盤において地震動により地表面が大きく沈下すると道路の陥没等が生じる可能性があるため、対策を検討する必要がある。

4. 液状化程度に関する考察 分析対象とした実験では過剰間隙水圧の時刻歴がスパイク波形であり、その振幅で液状化程度を判断することが困難であった。そこで、過剰間隙水圧の消散時間に基づく液状化程度の判定手法について検討した。

Terzaghiの圧密理論⁴⁾に基づくと、体積圧縮係数は透水係数と一定量の圧密度にいたるまでに要する時間、すなわち過剰間隙水圧消散までに要する時間に比例する。一方、既往の研究により過剰間隙水圧比が大きいものほど、体積圧縮係数が大きいことが明らかになっている⁵⁾。ここで、過剰間隙水圧比が大きいものほど埋設管が浮き上がりやすくなると仮定すると、体積圧縮係数が大きいものほど、すなわち、透水係数に過剰間隙水圧消散時間を乗じたものが大きいものほど埋設管浮き上がり量が大きくなると考えられる。

分析対象の実験における、図1に示した位置で測定した過剰間隙水圧消散時間に透水係数を乗じたものと、浮き上がり量の関係を図5に示す。ここで、加振中に既に過剰間隙水圧が消散していたガラス材1、6は除外している。過剰間隙水圧消散時間は、前報にて対象としたファインサンドにて計測時間中に過剰間隙水圧の消散が終了していなかったことから、ファインサンドの最終過剰間隙水圧比(=0.32)を基準と定めた。また、ガラス材2、3は計測器設置状況等が他と異なることから、図上では白色プロットで示している。

これより、過剰間隙水圧消散時間*透水係数の増加に伴い、浮き上がり量が増加する傾向が得られたことから、本指標にて透水係数の異なる材料の液状化程度を比較することが、ある程度可能であると考えられる。しかし、ばらつきが大きく明確な傾向とまでは言えないことから、今後も検討が必要である。

5. まとめ 液状化による埋設管浮き上がり量は埋戻し土の透水係数と密度に依存し、今回の試験条件では、締固め度90%程度の場合は透水係数 0.1cm/sec 程度以下では浮き上がりが生じた。本研究の対象材料とするガラス材(5～10mm)は、透水係数が $3.2 \times 10^{-1}\text{cm/sec}$ であるため、 $D_c=90\%$ 程度以上とすることで、液状化対策として有効であると考えられる。ただし、地震動により地表面が大きく沈下する可能性があることから、今後も検討が必要である。また、透水係数の異なる材料の液状化程度を過剰間隙水圧消散時間と透水係数を把握することで概ね比較できると考えられる。

謝辞 模型実験データは独立行政法人土木研究所より提供を受けた。また本実験で使用したガラス材は、ガラス・リソーシング(株)から提供を受けた。ここに記して深謝の意を表す。

<参考文献> 1)三上ら:廃ガラスリサイクル粗粒材料を用いた埋設管埋戻し材の液状化対策に関する検討,第62回年次学術講演会,2007 2)佐々木ら:管路施設の液状化対策としてのリサイクル材料の適用に関する動的遠心模型実験,第42回地盤工学研究発表会,2007 3)杉田ら:ガラスリサイクル材を用いた下水道管路施設の埋戻しに関する遠心模型実験,土木研究所資料第4110号,2008 4)石原研而:土質力学,2001 5)地盤工学会:液状化対策工法,2004

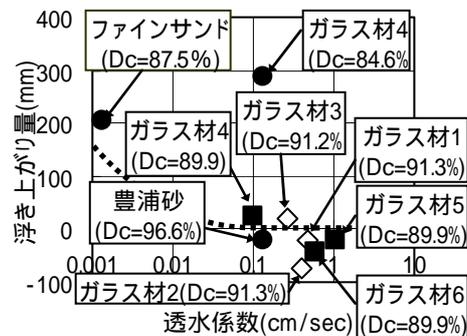


図3 埋設管浮き上がり量と透水係数の関係

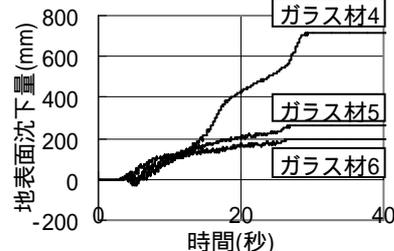


図4 地表面沈下量の時刻歴

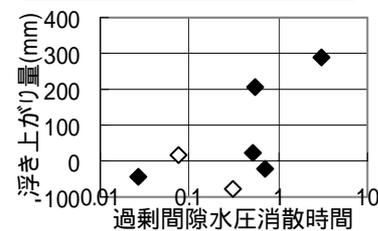


図5 過剰間隙水圧消散時間*透水係数と埋設管浮き上がり量の関係